



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

Všesměrové podvozky robotů v digitální výrobě

Omnidirectional chassis of robots in digital factory

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Imramovský

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Branislav Lacko, CSc

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Jakub Imramovský**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Všesměrové podvozky robotů v digitální výrobě

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza využití mobilních robotů v konceptu digitalizované výroby s ohledem na jejich možnosti, omezení a přínosy.

Cíle bakalářské práce:

Popište využití všesměrových podvozků v digitalizované výrobě.

Sestavte analýzu různých typů všesměrových podvozků.

Pro vybraný typ podvozku navrhnete jeho 3D konstrukční model.

Seznam doporučené literatury:

Kárník, L.-Knoflíček, R. -Novák, J.: Mobilní roboty. MARFY 2000 Opava.

Kolibal, Z.: Roboty a robotizované výrobní technologie. VUTIUM 2016 Brno.

Novák, P.: Mobilní roboty. BEN 2005 Praha.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 13. 12. 2017



doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá popisem všesměrových platforem a jejich použitím v digitalizované výrobě, analýzou různých typů všesměrových podvozků rozdělením a návrhem konstrukce všesměrové robotické platformy.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with division, construction and use of omnidirectional platforms in digitalized manufactory, analyses different types of undercarriages and construction of omnidirectional robotic platform.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mobilní robot, podvozek robota, všesměrové kolo, všesměrová mobilita.

KEYWORDS

Mobile robot, robot's undercarriage, omnidirectional wheel, omnidirectional mobility.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

IMRAMOVSKÝ, J. *Všesměrové podvozky robotů v digitální výrobě*. Brno: Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 47 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Branislav Lacko, CSc..

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval doc. Ing. Branislavu Lackovi, CSc. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a za čas, který mi věnoval při řešení problematiky bakalářské práce a jejího vypracování.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Branislava Lacka, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 24. 5. 2018

.....
Jakub Imramovský

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ SOUVISEJÍCÍHO S PRACÍ.....	17
2.1	Typy robotických platforem	17
2.2	Typy kol používaných při návrhu robotů	18
2.2.1	Standardní pevné kolo	18
2.2.2	Orientovatelné kolo	19
2.2.3	Všesměrové kolo	19
2.2.4	Typy konstrukce všesměrového kola	20
2.3	Holonomní a neholonomní roboti.....	21
2.4	Nejběžnější typy holonomních robotických platforem podle počtu kol.....	21
2.4.1	Jednokoloví roboti	21
2.4.2	Tříkoloví roboti.....	22
2.4.3	Čtyřkoloví roboti	23
2.5	Kuličkové podvozky	25
2.5.1	Podvozek s jednou řízenou koulí.....	25
2.5.2	Podvozek se třemi řízenými kulovými elementy	26
2.6	Kinematika pohybu robotických podvozků.....	26
3	POUŽITÍ VŠESMĚROVÝCH PODVOZKŮ V DIGITALIZOVANÉ VÝROBĚ	28
3.1	Průmysl 4.0	28
3.2	Použití všesměrových podvozků při přepravě.....	28
3.3	Použití platforem vybavených všesměrovým podvozkem při zásobování.....	30
3.4	Použití všesměrových podvozků při montáži	31
4	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VŠESMĚROVÉHO PODVOZKU	33
4.1	Konstrukční řešení čtyřkolového všesměrového podvozku	33
4.1.1	Krokový elektromotor	33
4.1.2	Všesměrové kolo Mecanum	34
4.1.3	Sada baterií	34
4.1.4	Řídící jednotka.....	34
4.1.5	Pohonná jednotka	35
4.1.6	Výsledný čtyřkolový všesměrový robot	36
4.2	Konstrukční řešení tříkolového všesměrového podvozku.....	37
4.2.1	Univerzální všesměrové kolo	37
4.2.2	Pohonná jednotka	37
4.2.3	Výsledný tříkolový všesměrový robot.....	38
5	ZÁVĚR	40
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	41
7	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	43
8	SEZNAM PŘÍLOH.....	45

1 ÚVOD

V dnešní době se lze s robotickými prostředky setkat stále častěji. Slouží k usnadnění práce, zrychlení výrobního procesu, práci v nebezpečných místech či situacích, nebo v podmínkách, kde by člověk pracovat nedokázal. Mobilní robotické platformy se uplatňují například ve výrobním procesu, přepravě nebo i v montáži.

Laická veřejnost vnímá robotizaci jako nejtypičtější projev deklarované 4. průmyslové revoluce. Děje se tak zřejmě i díky prudkému nárůstu počtu robotů zejména v průmyslu, např. mezinárodní organizace IFR, která se robotizací zabývá, předpokládá, že brzy bude ve světě více než 3 miliony průmyslových robotů, jak se píše v článku [29].

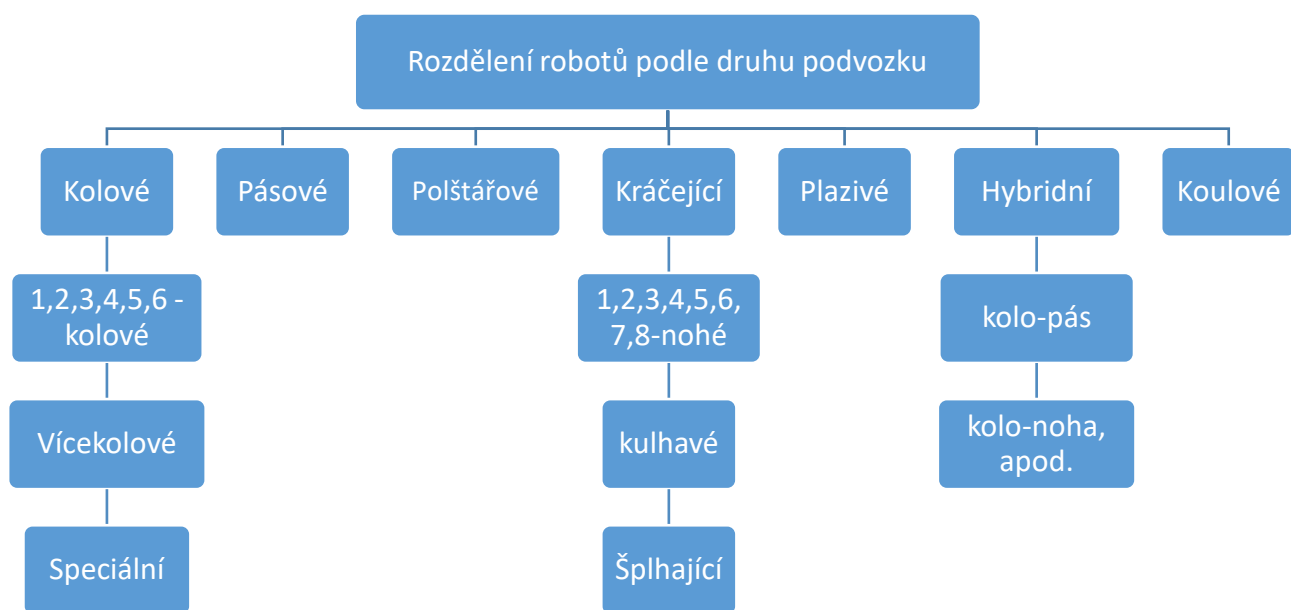
I proto je zajímavý koncept všesměrové mobility a jeho využití v robotizaci, neboť významně vylepšuje vlastnosti nejen robotizovaných a automatizovaných platform. Aplikací všesměrové mobility na robotech se také zabývá tato bakalářská práce.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ SOUVISEJÍCÍHO S PRACÍ

Tato část je zaměřena na zpracování stručného souhrnu současného stavu poznání v oblastech spojených s touto prací.

2.1 Typy robotických platforem

Existuje několik typů robotických platforem. Mezi základní řadíme pozemní roboty s kolovým podvozkem, s pásy nebo s končetinami, dále roboty pohybující se ve vzduchu, ve vodě, plazivé, hybridní kulové a další [28]. Další častou průmyslovou platformou bývá robot stacionární.

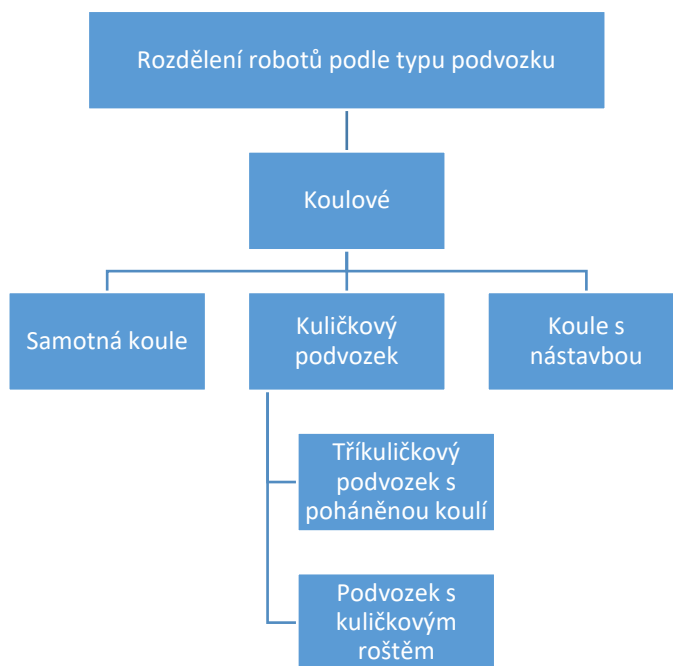


Obr. 1 Rozdělení robotů podle druhu podvozku [1]

Pozemní mobilní roboty můžeme řadit do kategorií:

- 1) kolové – nejčastějším způsobem mobility robotu jsou kola, nejčastěji v počtu tří, čtyř nebo šesti kusů. Tento typ robotů má spíše jednodušší konstrukci, nevýhodou je malá třecí plocha, kvůli čemuž může dojít k prokluzu a ztrátě kontaktu.

- 2) Pásové – většinou bývají pásy umístěny po stranách robotu. Používají se pro roboty pohybující se na měkké nebo sypké podložce. Zmenšují skluz a rovnoměrně distribuují váhu robotu na povrch. Nevýhodou je větší mechanická složitost a také zpětná síla působící při zatáčení.
- 3) Roboti s končetinami – tyto roboty používají k pohybu mechanické končetiny. Jsou všestrannější a lépe se pohybují po různých typech povrchů, často imitují pohyby živočichů, proto jsou mechanicky, elektronicky i softwarově složitější [2].



Obr. 2 Rozdělení robotů s kulovým podvozkem

2.2 Typy kol používaných při návrhu robotů

Kola se používají z důvodů jednoduchého designu a implementace [3]. Také se používají tehdy, má-li se robot pohybovat větší rychlostí. Další výhodou je, že robot netrpí ztrátou statické nebo dynamické stability, protože se jeho těžiště v průběhu pohybu nebo v klidu nemění. Nevýhodou je prokluzování na velmi hladkých površích a nestabilita na hrubém a nerovném povrchu.

2.2.1 Standardní pevné kolo

Tento typ kola má dva stupně volnosti a může se posouvat dopředu nebo dozadu. Střed kola je upevněn k rámu robotu a úhel mezi rámem a rovinou kola je konstantní. Kola jsou připevněna k motorům a používají se k pohánění a řízení.



Obr. 3 Standardní pevné kolo [10]

2.2.2 Orientovatelné kolo

Tento typ kola se používá k udržování rovnováhy. Kola jsou přišroubována k vidlici, která je drží na místě. Existují dva typy, centrovaná orientovatelná a kola necentrována. Centrovaná orientovatelná kola jsou navržena tak, že vertikální osa prochází středem kola. U kol necentrováných vertikální osa prochází mimo střed. Někdy návrh obsahuje rotační vazbu mezi vidlicí a rámem. Největší nevýhodou je, že se kolo může v případě chybějícího dotyku s povrchem volně otáčet kolem rotační vazby a neplní svoji funkci.

2.2.3 Všesměrové kolo

Tato kola jsou nejlepší volbou pro robotickou platformu, která vyžaduje pohyb do více směrů. Oproti standardním jsou vybavena po obvodu menšími pasivními (nepoháněnými) elementy, většinou ve tvaru válečků. Malé válečky na kraji jsou připojeny k hlavnímu kolu tak, že osa procházející středem podstav svírá určitý úhel s osou rotace hlavního kola. U kol Mecanum je to 45° , u běžných všesměrových kol je to 90° . Platforma s více všesměrovými koly se může pohybovat do všech směrů v rovině změnou velikosti a směru úhlové rychlosti centrálního kola.



Obr. 4 Kolo Mecanum [11]



Obr. 5 Všesměrové kolo [12]

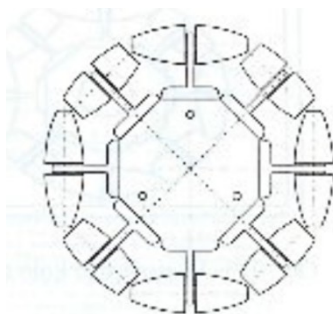
Kolo může uskutečňovat dva způsoby pohybu:

- rotace okolo osy náboje, kdy elementy zůstávají v klidu
- translace ve směru osy náboje; element, který je v kontaktu s podlahou se otáčí a náboj je fixován

Výhodou tohoto podvozku je velká dynamičnost jízdy a vysoká manévrovací schopnost v omezeném prostoru. Nevýhodou je nutnost velké přesnosti při výrobě, montážní přesnost a také nízká schopnost překonávání nerovností povrchu.

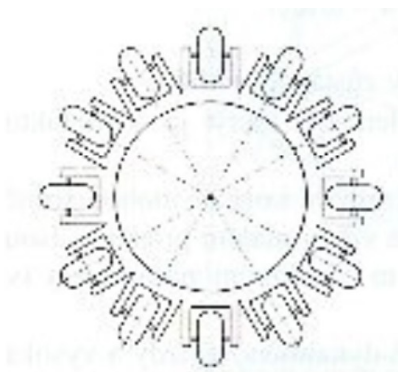
2.2.4 Typy konstrukce všesměrového kola

- **Stanfordské kolo:** Valivé elementy mají soudečkový tvar a obvodová křivka na řezu soudečku má tvar kružnice. Obvodová křivka je nespojitá - obvod kola je tvořen valivými elementy. V průběhu pohybu může docházet k vibračním soustavám z důvodu střídání elementů, které jsou ve styku s podlahou [1,28].



Obr. 6 Stanfordské kolo [1]

- **Univerzální kolo:** Každý element je připevněn k rámu z obou stran, valivé elementy jsou zkonstruovány ve tvaru úzkého válečku, mezi elementy jsou mezery způsobující chvění během pohybu celého robotu.

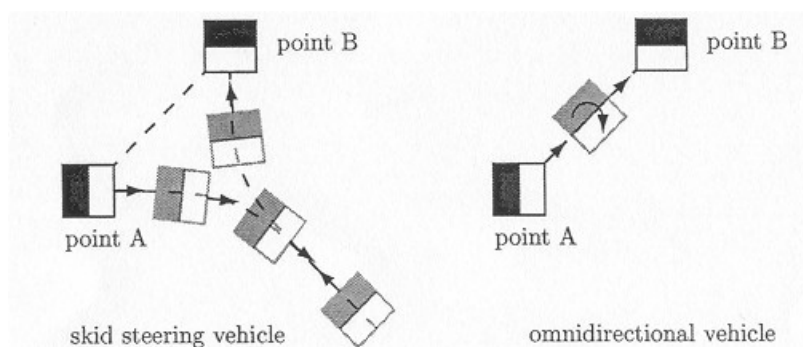


Obr. 7 Univerzální kolo [1]

2.3 Holonomní a neholonomní roboti

Podle práce [5] se poměr říditelných stupňů volnosti vůči jejich celkovému počtu nazývá holonomnost. Podle toho, zda a jak jsou roboti omezení v pohybu, se dělí na holonomní a neholonomní. Systém je holonomní, pokud všechna jeho omezení jsou holonomní, tj. taková, kde omezení nezávisí na rychlosti nebo hybnosti systému, ale na souřadnicích a času, a také pokud počet říditelných stupňů volnosti je stejný jako jejich počet. Naopak robot je neholonomní, pokud je počet říditelných stupňů volnosti menší než celkový počet stupňů volnosti.

Holonomní robotické platformy se v praxi používají například pro vysokozdvizné vozíky ve skladech, rozšířenější jsou ovšem platformy neholonomní.



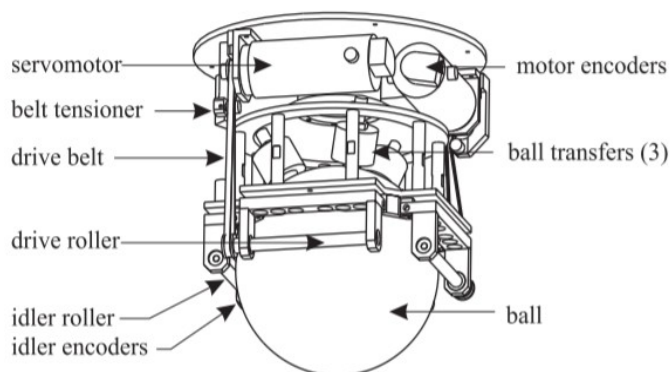
Obr. 8 Pohyb z bodu A do bodu B: sklopné řízení (vlevo), všesměrové řízení (vpravo) [13]

2.4 Nejběžnější typy holonomních robotických platform podle počtu kol

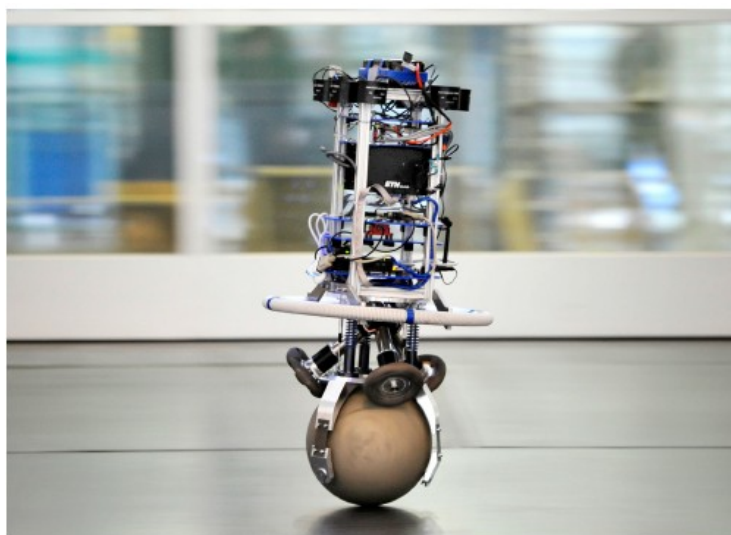
2.4.1 Jednokolové roboty

Ovládání a řízení tohoto typu robotů je složité zejména kvůli jedinému bodu, kde se robot dotýká povrchu. Většinou jsou konstruovány tak, že robot stojí na koulovém kole a stabilitu získává pomocí gyroskopu. Příkladem takové platformy je robot Balbot [6].

Ten je konstruován tak, že jeho výška, šířka a váha jsou podobné lidem. Těžiště je dynamicky vyvažováno na kulovém kole.



Obr. 9 Inverzní mechanismus řízení koule robotu Balbot [6]



Obr. 10 Balbot dosahuje rychlostí do 2 m/s při náklonu až 17° [14]

2.4.2 Tříkolové roboty

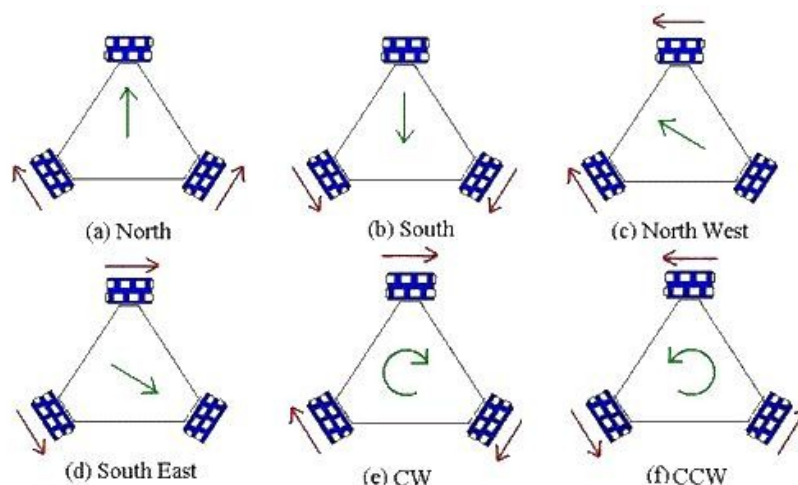
Tento typ robotické platformy je často konstruován tak, že osy kol mezi sebou svírají úhel 120°. Deska má trojúhelníkový tvar a každé kolo je řízeno krokovým motorem. Jako kola se nejčastěji volí univerzální.

Příkladem může být tento robot se všesměrovými koly od firmy NEXUS robot [7]. Maximální šířka tohoto robota je 330 mm, výška je 108 mm. Vzdálenost mezi koly je 275 mm. Rám robota je vyroben z hliníku. Může se pohybovat po rovině se sklonem až dvacet stupňů a váží 15 kilogramů. Používá všesměrová kola s valivými elementy kolmými k ose rotace kola a je vybaven ultrazvukovými a infračervenými senzory pro detekci překážek s možností rozšíření o další nástavby.



Obr. 11 Tříkolový všesměrový robot firmy NEXUS robot [7]

Na obrázku č. 12 jsou znázorněny základní směry pohybu tříkolového všesměrového robotu způsobené rozdílnou orientací vektoru úhlové rychlosti daného kola, jejichž kombinací lze vyvodit složitější pohyby.



Obr. 12 Základní pohyby tříkolového robotu [15]

2.4.3 Čtyřkolové roboty

Spolu s tříkolovými roboty jsou čtyřkolové zastoupené nejčastěji. Nejčastěji jsou konstruovány ve dvou variantách, které se liší v úhlu mezi osami kol. První variantou je situace, kdy osy svírají úhel 90° .

Příkladem může být dálkově ovládatelná platforma MT200S Omni wheel Robot Car [8]. Má čtvercovou podstavu o velikosti hrany 340 mm. Rám robotu je vyroben z oceli. Použitá kola jsou opět všesměrová s válečky kolmými na osu otáčení kola s únosností až 20 kg. Samotný robot váží 10 kg.



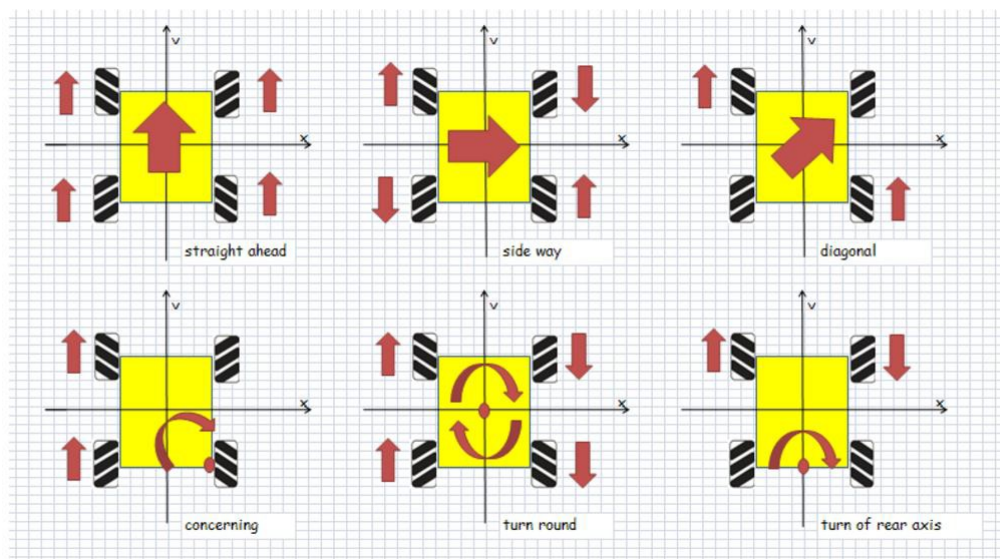
Obr. 13 Robotická platforma MT200S [8]

Druhou variantou je pak taková konstrukce, kdy jsou osy kol rovnoběžné. Příkladem takového robotu může být robot URANUS, který byl postaven jako jeden z prvních se všesměrovými koly na Carnegieho–Mellonových univerzitě v roce 1986 [16].



Obr. 14 Robot URANUS [17]

Na následujícím obrázku jsou znázorněné základní pohyby čtyřkolového všesměrového robotu druhého typu.



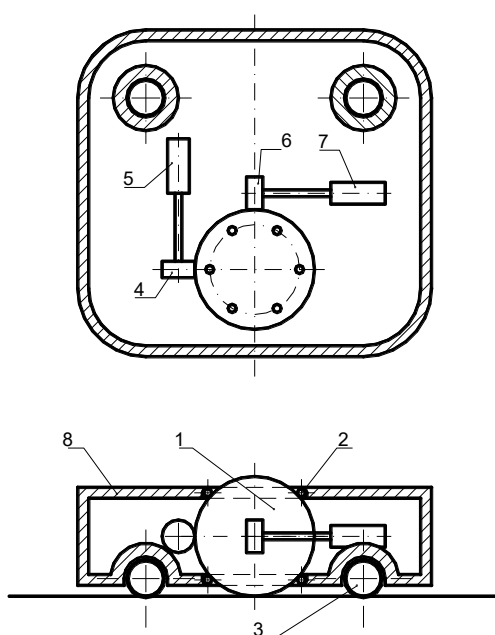
Obr. 15 Základní pohyby čtyřkolového robota [18]

2.5 Kuličkové podvozky

Další variantou všesměrové platformy může být platforma s kuličkovými poháněnými elementy. Příkladem takové platformy jsou dva návrhy konstrukčního řešení, které jsou popsány v článku [19].

2.5.1 Podvozek s jednou řízenou koulí

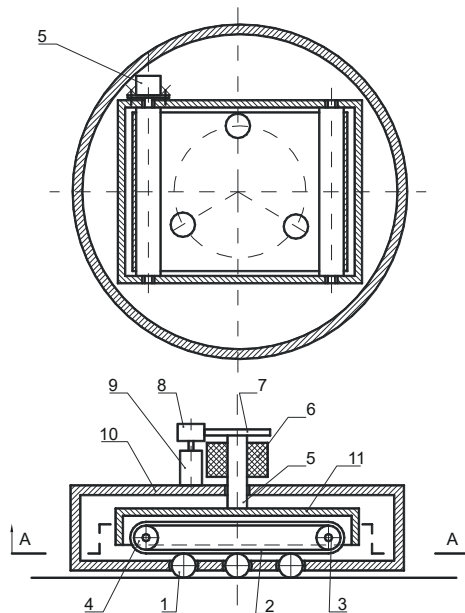
Prvním návrhem je podvozek s jednou řízenou a dvěma neřízenými koulemi 3. Řízená koule 1 je ovládána dvěma kladkami 4,6 tak, že vektor výsledné působící síly směřuje do požadovaného směru. Kladky jsou ovládány motory 5 a 7. Podvozek je dále vybaven dvěma distančními koulemi 2, které jsou mezi hnanou koulí a rámem 8.



Obr. 16 Podvozek s jednou řízenou koulí [19]

2.5.2 Podvozek se třemi řízenými kulovými elementy

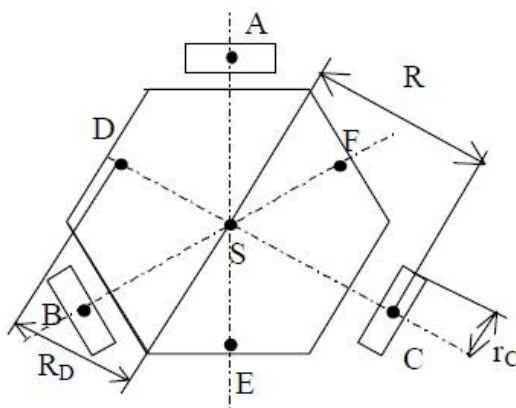
Pohyb tří kulových elementů **1** je způsoben pásem **2**, který je napnutý mezi válci **3** a **4**. Válec **4** je připojen na reverzní elektromotor **5**. Při pomocné rotaci válce kolem otočného čepu **5**, která je poháněná elektromotorem **9** a přes kola **8,7** a čep **5** připojena k rámu pásu **11**, je celý rám pásu zvednut elektromagnetickou cívkou **6** a do původní polohy se pás vrátí díky tlaku pružiny. Takto je možné pohybovat všemi třemi kulovými elementy stejně a zajistit požadovanou velikost a směr pohybu.



Obr. 17 Podvozek se třemi řízenými koulemi [18]

2.6 Kinematika pohybu robotických podvozků

Některé robotické podvozky mohou mít složité řízení pohybu. Na VUT FSI ÚAI bylo v rámci disertační práce [9] řešeno řízení tříkolového podvozku s vícesměrovými koly. V dalším textu jsou uvedeny základní pohybové rovnice, které byly východiskem pro řízení robota s tímto podvozkem.



Obr. 18 Podvozek se třemi řízenými všesměrovými koly [9]

Při pohybu z bodu 1 do bodu 2 jsou velikosti úhlových rychlostí $\Delta\tau_A$, $\Delta\tau_B$ a $\Delta\tau_C$ určeny rovnicemi:

$$\begin{aligned}\Delta\tau_A &= 2 * \pi * \Delta n_A = -\Delta x_S * \sin \varphi + \Delta y_S * \cos \varphi \\ \Delta\tau_B &= 2 * \pi * n_B = -\Delta x_S * \sin \left(\varphi + \frac{2\pi}{3} \right) + \Delta y_S * \cos \left(\varphi + \frac{2\pi}{3} \right) \\ \Delta\tau_C &= 2 * \pi * n_C = -\Delta x_S * \sin \left(\varphi + \frac{4\pi}{3} \right) + \Delta y_S * \cos \left(\varphi + \frac{4\pi}{3} \right)\end{aligned}\tag{2.6.1}$$

kde Δn_A , Δn_B , Δn_C , jsou změny otáček kol A, B, C, Δx_S , Δy_S jsou změny souřadnic středu S robotu x a y mezi body 1 a 2 a φ je úhel natočení. Tyto rovnice slouží k zjištění toho, jaké hodnoty robot potřebuje k přesunu z polohy x_{S1} , y_{S1} , φ do polohy x_{S2} , y_{S2} , φ .

3 POUŽITÍ VŠESMĚROVÝCH PODVOZKŮ V DIGITÁLIZOVANÉ VÝROBĚ

V celém výrobním procesu, tedy od surovin a polotovarů k finálnímu výrobku expedovaného z montážní haly, mohou být mobilní roboty v digitalizované výrobě využity zejména jako nástroj pro:

- dopravu po hale mezi stroji a výrobními pracovišti, mimo dosah průmyslových robotů nebo pracovních linek
- dopravu mezi halami
- užití všesměrových robotů při plně automatizované nebo poloautomatizované montáži
- specifické operace, například autonomní roboty pro hašení při požáru haly apod.
- specifickou dopravu, ve strojírenské výrobě jsou k těmto zvláštním operacím využívány roboty kolové, méně často všesměrové podvozky pro mobilní roboty, na dopravu mezi halami nebo k zákazníkovi se mohou použít například i drony nebo vznášedla

3.1 Průmysl 4.0

Koncept Průmysl 4.0 se poprvé objevil v Německu v roce 2011. Označuje čtvrtou průmyslovou revoluci, která spočívá v zavádění kyberneticko-fyzikálních systémů do výroby a vytváření tzv. *smart factories*, tedy chytrých továren. Používá se pro tři propojené oblasti: digitalizaci a integraci libovolného výrobně-obchodního procesu od jednoduchých po komplexně propojené výrobně-obchodní řetězce, digitalizaci produkce a nabídku služeb a nové obchodní modely [25].

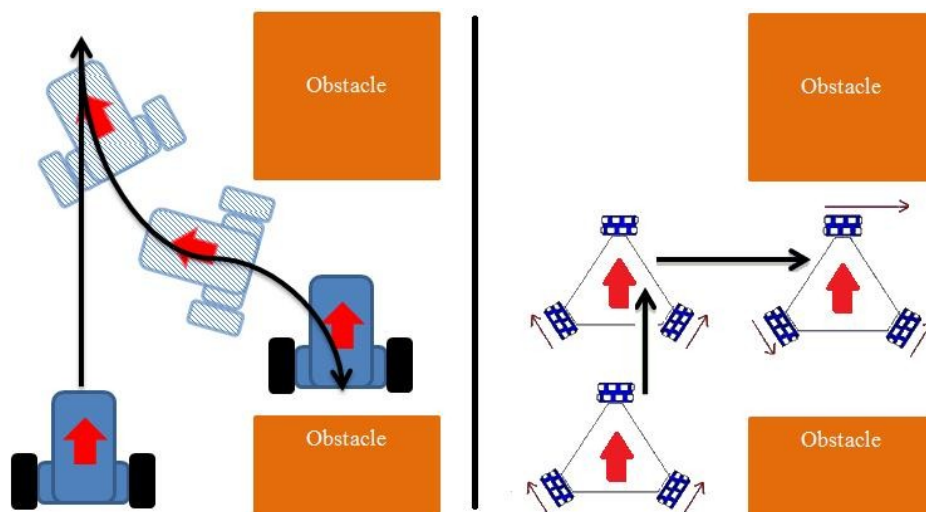
Cílem je automatizace, flexibilita, zefektivnění a zrychlení procesu výroby a snížení výrobních cen. Toho se má dosáhnout pomocí autodiagnostiky, autokonfigurace a strojového vnímání pomocí vybavení strojů čipy a senzory, díky kterým je bude možné ovládat a kontrolovat přes internet.

Digitalizovaná výroba je výsledkem aplikace konceptu Průmyslu 4.0 do výrobního procesu.

3.2 Použití všesměrových podvozků při přepravě

K přepravě výrobků mezi linkami se běžně používají akumulátorové vozíky, kolové vlečné vozy a kolejové vozy. V současné době je při výrobě kladen velký důraz na automatizaci výrobního procesu. Vsesměrové podvozky jsou díky lepší manévrovatelnosti, menší potřebě prostoru k provedení manévru a menší uražené dráze

vhodnou součástí takovýchto dopravních prostředků. Tyto vlastnosti jsou zobrazeny na následujícím obrázku:



Obr. 19 Porovnání vlastností konvenčního a všesměrového vozidla [15]

Příkladem takového dopravního prostředku se všesměrovým podvozkem je například vysokozdvizný vozík MaxTruck 2T [20]. Díky všesměrovému podvozku může operovat v uličkách širokých 1,6m, pohybovat se v jakémkoliv směru, zatáčet kolem libovolného bodu, pohybovat se bokem a rotovat, zatímco se pohybuje v požadovaném směru.



Obr. 20 Všesměrový vysokozdvizný vozík MaxTruck 2T [20]

Dalším vozidlem využívajícím všesměrovou mobilitu je vysokozdvizný vozík SIDEWINDER ATX-3000, vybavený čtyřmi všesměrovými nezávisle řízenými koly Mecanum vybavenými dvanácti polyuretanovými válci



Obr. 21 Vysokozdvížený vozík Sidewinder ATX-3000 [21]

3.3 Použití platformem vybavených všesměrovým podvozkem při zásobování

Jedním z cílů konceptu Průmysl 4.0 je flexibilita při výrobě, kdy zakázky od zákazníků budou ihned vyráběny na výrobních linkách kvůli zpracování za velkosériovou cenu. To klade velké nároky na logistiku zásobování. Řešením může být všesměrová robotická zásobovací platforma, například KMP Mobile Platform 1500 schopná autonomního řízení.



Obr. 22 KMP Mobile Platform 1500 při převozu dílu karoserie auta [26]

3.4 Použití všesměrových podvozků při montáži

Montáž je velmi důležitou součástí výroby technického díla, vyžaduje přesnost a synchronizaci. Při sériové výrobě složitých technických soustav, například letadel či automobilů, je kladen důraz na automatizaci celého procesu.

Sestavování a transport draků letadel se v současné době provádí většinou bez automatizace. Parciálním řešením pro plně nebo částečně automatizovanou výrobu mohou být autonomní robotické platformy schopné vydržet vysoké zatížení. Příkladem takové platformy je řešení společnosti Kuka, která vyvinula robotickou platformu Kuka omniMove, jejíž užitečné zatížení je až 90 tun a na délku měří až 30 metrů [22]. Zatížení je rozloženo mezi dvanáct párů všesměrových kol.



Obr. 23 Platforma Kuka omniMove [23]

Platformy Kuka omniMove jsou používány například leteckou společností Airbus pro přepravu křídel a trupů letadla A350 v továrně ve Stadu v Německu.



Obr. 24 Platforma Kuka omniMove při manipulaci s leteckými díly [24]

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VŠESMĚROVÉHO PODVOZKU

Tato bakalářská práce se zabývá také konstrukčním řešením hypotetických všesměrových podvozků pro variantu tří a čtyř kol. Cílem je vypracovat koncepci konstrukce všesměrové platformy, při které jsou použity díly vyráběné pomocí běžných výrobních metod, čímž se dosáhne nízkých výrobních nákladů.

Jedná se o 3D modely, které byly vypracovány v programu Autodesk Inventor 2016.

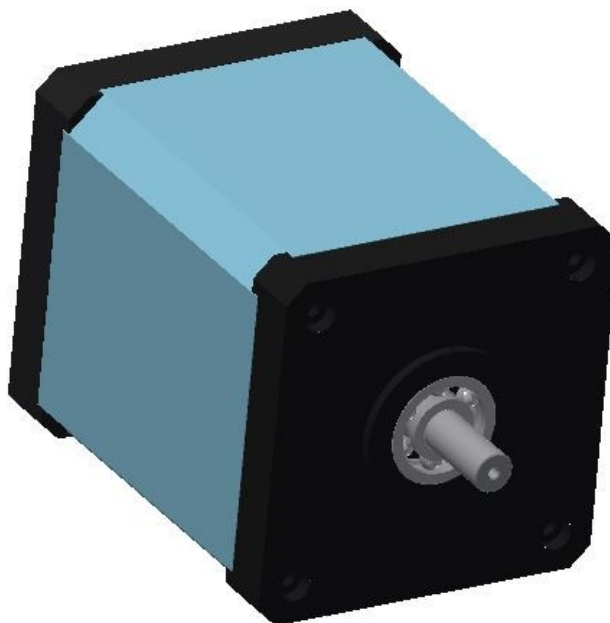
4.1 Konstrukční řešení čtyřkolového všesměrového podvozku

Jedním z prvních zkonstruovaných všesměrových robotů byl robot URANUS, který sloužil zejména k výzkumným účelům. Následující konstrukční řešení všesměrového podvozku má sloužit nejen tomuto cíli, ale je také navrženo tak, aby bylo na podvozek možno doplnit další nástroje, jako například robotické paže, manipulátory nebo přípravky pro přepravu materiálu.

Návrh obsahuje krokový elektromotor, všesměrové kolo Mecanum, pevnou hřídelovou spojku, sadu baterií a model řídicí jednotky.

4.1.1 Krokový elektromotor

Elektromotor byl modelován podle krokového motoru Nema17, typ A. Rozměry modelu jsou 70x70x90mm, rozměry motoru Nema17 jsou 1,7-krát menší. Průměr výstupní hřídele je 8 mm.



Obr. 25 Model krokového elektromotoru s přírubou

4.1.2 Všesměrové kolo Mecanum

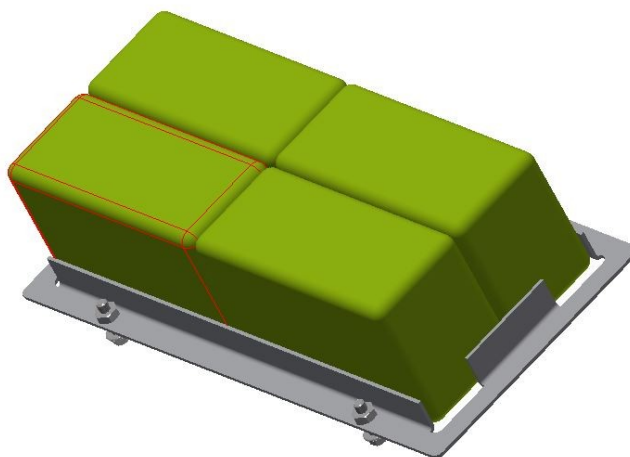
Průměr kola je 124mm, podvozek obsahuje dvě varianty kola, které se liší úhlem sklonu valivých elementů kvůli zajištění všesměrového chování.



Obr. 26 Modely všesměrového kola Mecanum s lišícím se úhlem sklonu valivých elementů

4.1.3 Sada baterií

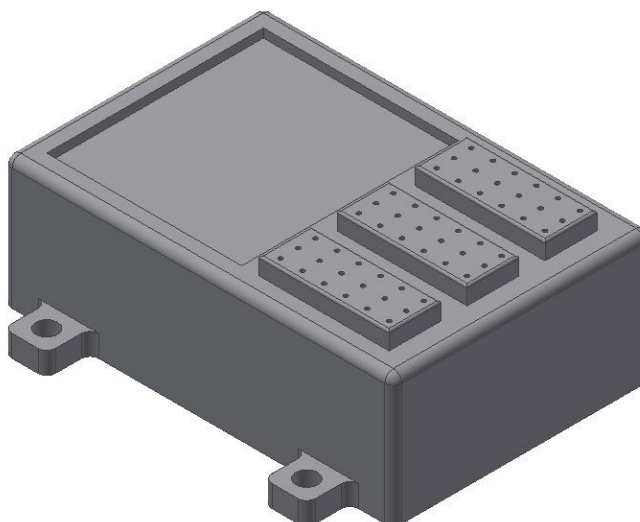
Zásoba elektrické energie je skladována ve čtyřech pohonných bateriích typu Li-Po. Rozměry celé sady jsou 140x60x40mm.



Obr. 27 Sada baterií typu Li-Po

4.1.4 Řídící jednotka

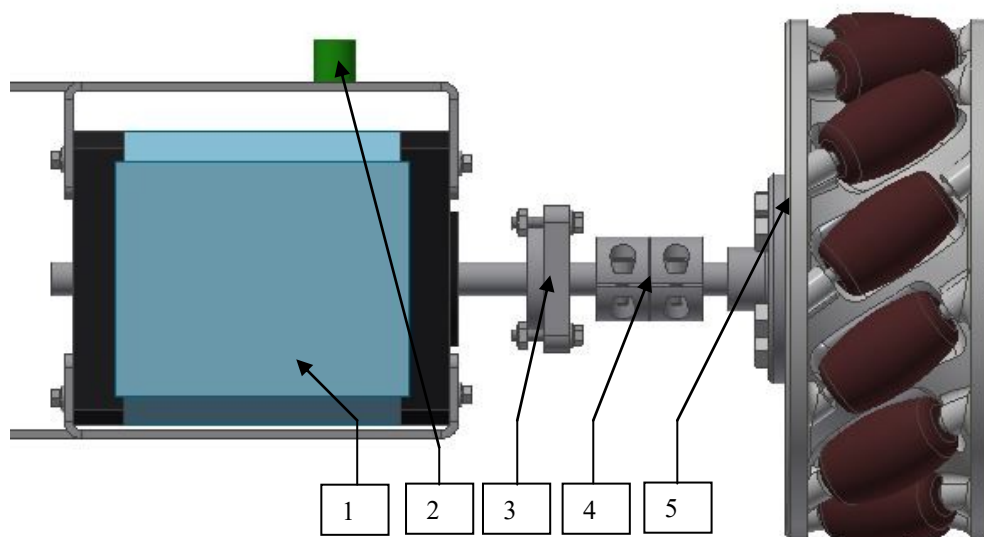
Výsledný pohyb zajišťuje programovatelný logický automat, který řídí velikost a směr výstupních otáček motoru a tedy také úhlovou rychlost ω kola Mecanum.



Obr. 28 PLC -programovatelný logický automat

4.1.5 Pohonná jednotka

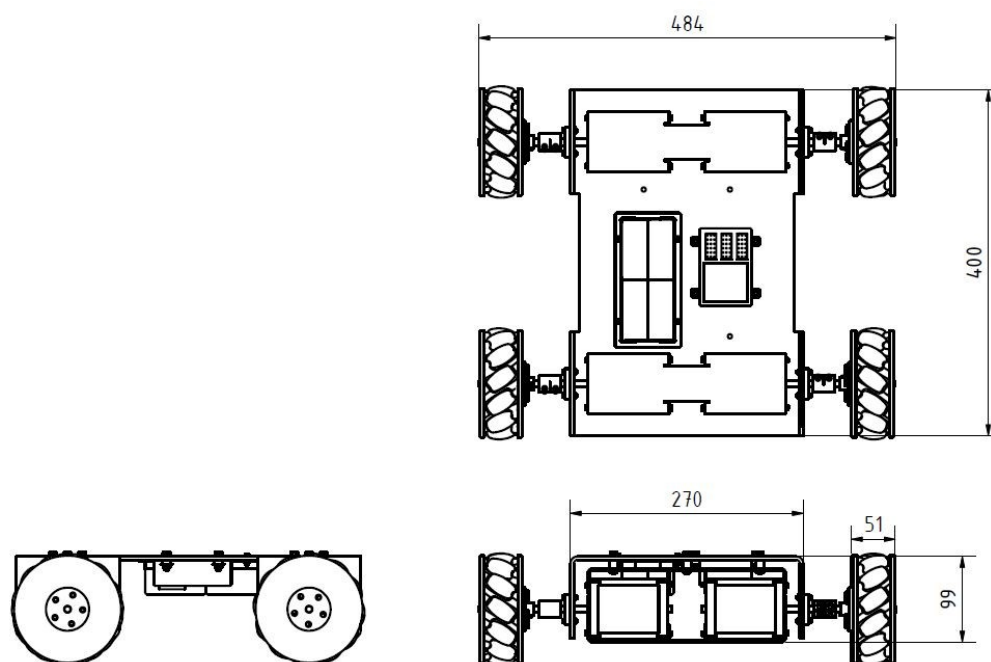
Pohonná jednotka je složena z motoru, dvou přidržovacích plechů, pevné hřídelové spojky, která slouží ke spojení hřídele motoru a hřídele kola Mecanum. Malé obvodové házení zajišťuje kuličkové ložisko, které je přírubou spojeno s horní deskou. Distanční kroužek vymezuje vůli mezi pohonnou jednotkou a horní deskou.



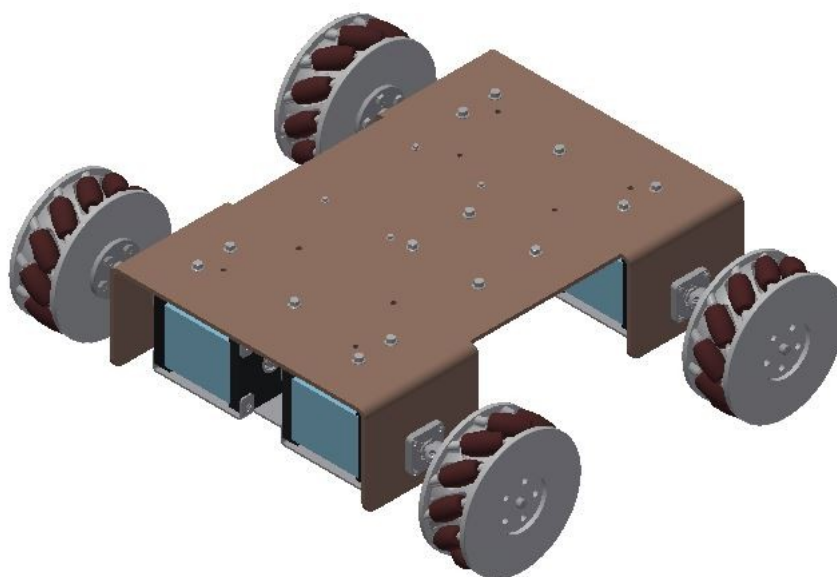
Obr. 29 Pohonná jednotka: 1-elektromotor, 2-distanční kroužek, 3-příruba s ložiskem, 4-pevná hřídelová spojka, 5-všesměrové kolo Mecanum

4.1.6 Výsledný čtyřkolový všesměrový robot

Dvě pohonné jednotky, z nichž každá zahrnuje dva motory a dvě všesměrová kola, jsou připevněny šrouby k horní desce. Sada baterií a pohonná jednotka jsou rovněž uchyceny šrouby ke spodní straně horní desky tak, aby na horní straně desky bylo co nejvíce prostoru pro další přídatná zařízení, senzory nebo vědecké přístroje. Rozvor mezi přední a zadní nápravou je 280mm. Díky širokému rozchodu kol a nízko položenému těžišti je platforma velmi stabilní.



Obr. 30 Výkres všesměrového robota se základními parametry



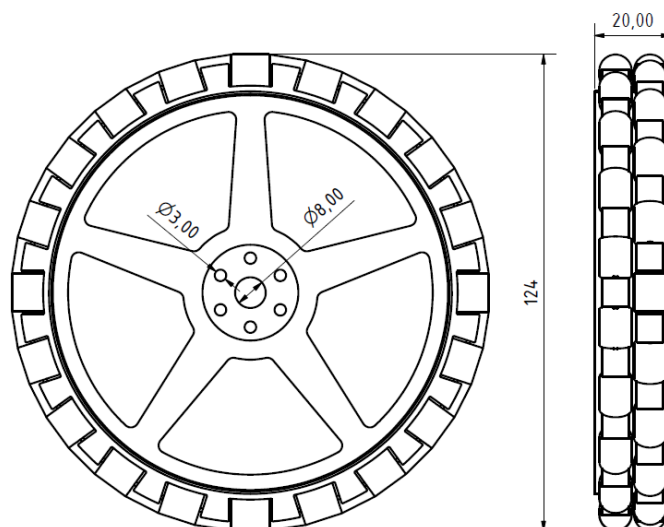
Obr. 31 Všeměrový robot

4.2 Konstrukční řešení tříkolového všesměrového podvozku

Stejně jako konstrukční řešení v předchozím případě je i tento návrh soustředěn na efektivní využití prostoru tak, aby komponenty nutné pro funkčnost robota zabíraly co nejméně místa. Návrh robota zahrnuje elektromotory, sadu baterií, řídicí jednotku, pružnou spojku a univerzální všesměrové kolo.

4.2.1 Univerzální všesměrové kolo

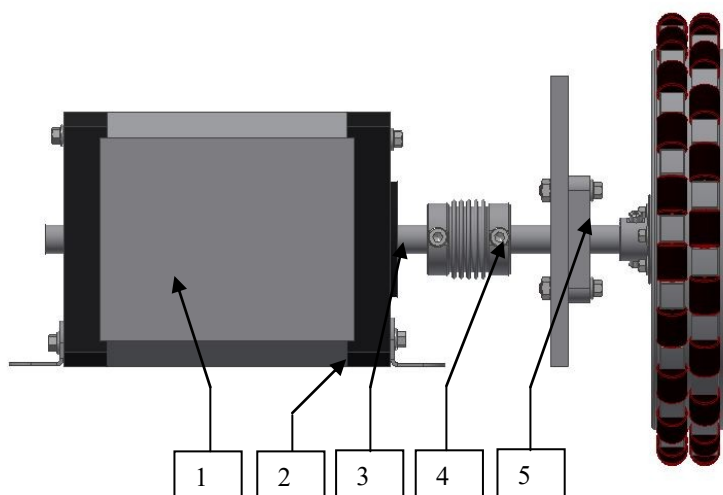
Kolo je tvořeno základnou, na kterou je umístěno do dvou řad celkem čtyřicet válcových valivých elementů o délce 10 mm.



Obr. 32 Univerzální všesměrové kolo

4.2.2 Pohonná jednotka

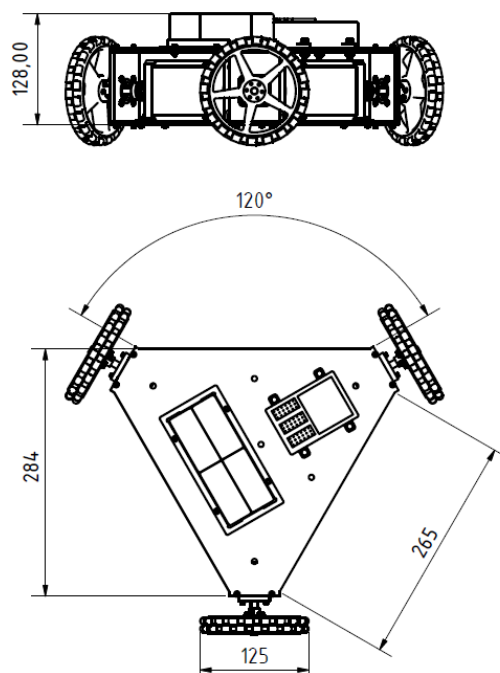
Pohonná jednotka je složena z motoru, pružné hřídelové spojky, která slouží ke spojení hřídele motoru a kolové hřídele. Malé házení zajišťuje kuličkové ložisko, které je přírubou spojeno se stěnou.



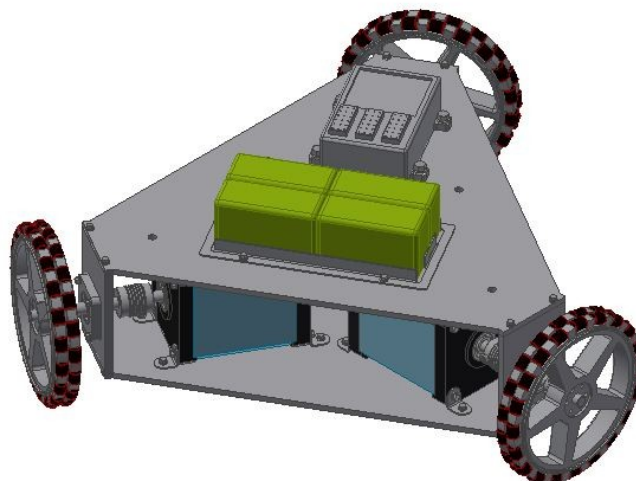
Obr. 33 Pohonná jednotka: 1-elektromotor, 2-držák, 3-pružná hřídelová spojka, 4-příruba s ložiskem, 5-univerzální všesměrové kolo

4.2.3 Výsledný tříkolový všesměrový robot

Robot je konstruován tak, že osy kol spolu svírají úhel 120° . Pohonné jednotky jsou umístěny v prvním patře, sada baterií a řídicí jednotka jsou umístěny ve druhém. Díky snadné manipulaci je možné jednoduše přidávat další patra dle potřeby.

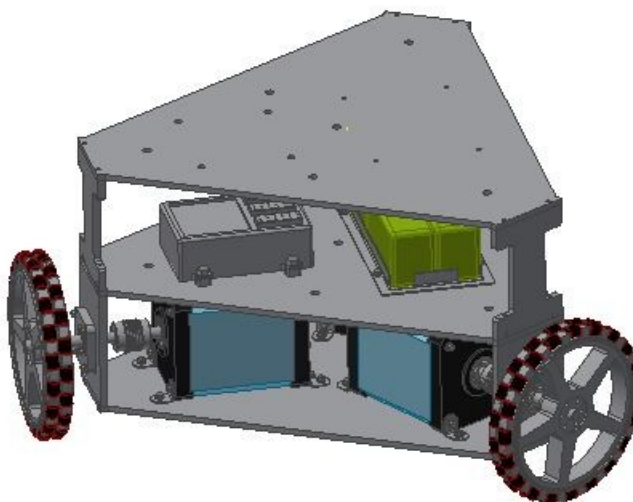


Obr. 34 Výkres tříkolového všesměrového robota se základními rozměry



Obr. 35 Tříkolový všesměrový robot

Přidáváním dalších pater lze zvýšit úložný prostor robota dle potřeby, deska je vybavena řadou otvorů pro uchycení zatížení, přístrojů, senzorů, apod.



Obr. 36 Přídavná patra zajišťují úložný prostor robotu

5 ZÁVĚR

Tématem této bakalářské práce byla všesměrová mobilita a její využití ve výrobě. Byl představen princip všesměrové mobility a některá konstrukční řešení všesměrových kol. Analýza různých typů všesměrových podvozků byla sestavena v podkapitole 2.4 a 2.5. Třetí kapitola byla věnována využití všesměrových podvozků v různých částech digitální výroby, zejména v montáži a v dopravě. Protože nebyl zadán konkrétní podvozek, autorem této práce bylo vybráno konstrukční řešení dvou obecných všesměrových robotů a to ve variantě tříkolové a čtyřkolové platformy, což bylo tématem kapitoly čtvrté.

Tyto reálné soustavy budou používány ve stále větší míře zejména ve výroбах podle konceptu Průmysl 4.0, kde kromě jiného budou představovat významnou složku i ve fázi výrobních operací včetně jednotlivých montážních kroků, ale i celé montáže, jak se lze dočíst v publikaci Roboty a robotizované výrobní technologie [27].

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kárník L., Knořlíček R., Novák Marcinčin J., *Mobilní roboty*, Nakladatelství Márfy Slezko, Opava, 2000, 210s. ISBN 80-902746-2-5
- [2] Robot Platform, *Types of Robot Wheels* [online]. 2010 [cit. 10.04.2018]. Dostupné z: http://www.robotplatform.com/knowledge/Classification_of_Robots/Types_of_robot_wheels.html
- [3] Coleman B., *What Types of Mobile Robots are There?* [online]. 2018 [cit. 20.04.2018]. Dostupné z: <https://www.robotshop.com/blog/en/what-types-of-mobile-robots-are-there-3652>
- [4] Winkler Z., *Odometrie* [online]. 2005 [cit. 15.04.2018]. Dostupné z: <https://robotika.cz/guide/odometry/cs>
- [5] SEDLÁK, V. *Plánování cesty mobilního robotu pomocí mravenčích algoritmů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 64 s. Vedoucí diplomové práce RNDr. Jiří Dvořák, CSc..
- [6] Lauwers T. B., Kantor G. A., Hollis R. L., *A Dynamically Stable Single-Wheeled Mobile Robot with Inverse Mouse-Ball Drive* [online] Orlando, FL, May 15-19, 2006 [cit. 20.04.2018]. Dostupné z: https://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub4/lauwers_tom_2006_1/lauwers_tom_2006_1.pdf
- [7] Nexus Robot, *3WD 100mm Omni wheel robot kit 10003* [online]. [cit. 20.04.2018], Dostupné z <http://www.microrobo.com/documents/3WD-100mm-omni-wheel-robot-kit-10003.pdf>
- [8] MT200S 4WD 100mm Omni Wheels Robot Car Chassis Alibaba Group [online]. 2010 [cit. 21.04.2018]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/MT200S-4WD-100mm-Omni-Wheels-Robot-Car-Chassis-Stainsteel-Frame-Big-Power-Motor-For-DIY-Toy/32841507269.html>
- [9] SOUKUP, K. *Řízení všesměrového podvozku mobilního robotu*. Brno: Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 61 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Branislav Lacko, CSc..
- [10] Wheels - VEX Robotics. *VEX Robotics - VEX Robotics* [online]. 2002 [cit. 21.04.2018]. Dostupné z: <https://www.vexrobotics.com/edr-wheels.html>
- [11] Mecanum Wheels – WCP. *WCP* [online]. 2018 WestCoast Products [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: <http://www.wcproducts.net/mecanum-wheels>
- [12] TETRIX® MAX Omni Wheel Packs (W31132). *Pitsco Education | K-12 Future-Ready STEM Learning* [online]. Copyright © 2018 Pitsco, Inc. All rights reserved. [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: <https://www.pitsco.com/TETRIX-Omni-Wheel-Packs?SKU=31132&>
- [13] BAEDE T. A., *Motion control of an omnidirectional mobile robot*. Eindhoven, Zpráva ze stáže, Eindhoven University of Technology, 18. září 2006, 48 s.
- [14] HERTIG L., SCHINDLER D., BLOESH M., DAVID REMY C., SIEGWART R., *Unified State Estimation for a Ballbot*, ETH Zurich, Switzerland, University of Michigan, USA, 2014, 6 s.
- [15] Wey Kang Tey, *Designing an Omnidirectional Mobile Robot Using NI LabVIEW and NI Single-Board RIO*, Universiti Teknologi Malaysia, [online]. Dostupné z: [http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-14839#prettyPhoto\[gallery\]/3/](http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-14839#prettyPhoto[gallery]/3/)

- [16] BLACKWELL M., *The URANUS Mobile Robot*, Pittsburg, Carnegie-Mellon University, USA, Zář 1990
- [17] Omnidirectional Mobile Robot - Design and Implementation - Scientific Figure on ResearchGate. [cit 21.5.2018] Dostupné z: https://www.researchgate.net/Uranus-omnidirectional-mobile-robot-Muir-Neuman-1987-The-benefits-of-a-vehicle-with_fig1_221786657
- [18] RoboteQ, *Driving Mecanum Wheels Omnidirectional Robots*, Říjen 2015
- [19] LACKO B., *Využití kulových elementů ve vícesměnových podvozcích mobilních robotů*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005
- [20] Vysokozdvíhový všesměrový vozík, AMVAR Group, [online]. [cit 21.5.2018] Dostupné z: <http://www.amvargroup.com/fork-trucks/maxtruck-2t-omni-directional-forklift-truck/>
- [21] Vysokozdvíhový všesměrový vozík Sidewinder, [online]. [cit 21.5.2018], Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/518054763365806138/>
- [22] Kuka omniMove, [online]. [cit 21.5.2018], Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-us/products/mobility/mobile-platforms/kuka-omnimove>
- [23] Robotická platforma Kuka omniMove [online]. Březen 2016 [cit 21.5.2018], Dostupné z: https://www.presseagentur.com/pfaffsb/detail.php?pr_id=4279&lang=en
- [24] Additional Kuka omniMove transports upper shell of wing for a350 [online]. Listopad 2016 [cit 21.5.2018], Dostupné z: <https://www.cnctimes.com/editorial/additional-kuka-omnimove-transport-upper-shell-of-wing-for-a350-xwb>
- [25] Zezulka F., Veselý I., Braun V., *Úvod do problematiky a základní modely Industry 4.0*, [online], Brno, Žďár nad Sázavou, 2017, [cit 21.5.2018], Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/uvod-do-problematiky-a-zakladni-modely-industry-4.0.htm>
- [26] [online] [cit 21.5.2018], Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-us/products/mobility/mobile-platforms/kmp-1500>
- [27] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-2144-828-5.
- [28] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1.
- [29] Kabeš K., Již brzy budou na světě v provozu tři miliony průmyslových robotů, *Automa*, 2017, **10**, 28-29

7 SEZNAM OBRÁZKŮ A SYMBOLŮ

Seznam obrázků:

Obr. 1 Rozdělení robotů podle druhu podvozku [1]	17
Obr. 2 Rozdělení robotů s kulovým podvozkem.....	18
Obr. 3 Standardní pevné kolo [10]	19
Obr. 4 Kolo Mecanum [11].....	19
Obr. 5 Všesměrové kolo [12]	20
Obr. 6 Stanfordské kolo [1]	20
Obr. 7 Univerzální kolo [1]	21
Obr. 8 Pohyb z bodu A do bodu B: sklopné řízení (vlevo), všesměrové řízení (vpravo) [13]	21
Obr. 9 Inverzní mechanismus řízení koule robotu Balbot [6]	22
Obr. 10 Balbot dosahuje rychlostí do 2 m/s při náklonu až 17° [14]	22
Obr. 11 Tříkolový všesměrový robot firmy NEXUS robot [7]	23
Obr. 12 Základní pohyby tříkolového robotu [15]	23
Obr. 13 Robotická platforma MT200S [8]	24
Obr. 14 Robot URANUS [17].....	24
Obr. 15 Základní pohyby čtyřkolového robotu [18].....	25
Obr. 16 Podvozek s jednou řízenou koulí [19]	25
Obr. 17 Podvozek se třemi řízenými koulemi [18]	26
Obr. 18 Podvozek se třemi řízenými všesměrovými koly [9]	26
Obr. 19 Porovnání vlastností konvenčního a všesměrového vozidla [15]	29
Obr. 20 Všesměrový vysokozdvizný vozík MaxTruck 2T [20]	29
Obr. 21 Vysokozdvizný vozík Sidewinder ATX-3000 [21]	30
Obr. 22 KMP Mobile Platform 1500 při převozu dílu karoserie auta [26]	30
Obr. 23 Platforma Kuka omniMove [23]	31
Obr. 24 Platforma Kuka omniMove při manipulaci s leteckými díly [24]	31
Obr. 25 Model krokového elektromotoru s přírubou.....	33
Obr. 26 Modely všesměrového kola Mecanum s lišicím se úhlem sklonu valivých elementů ...	34
Obr. 27 Sada baterií typu Li-Po	34
Obr. 28 PLC -programovatelný logický automat	35
Obr. 29 Pohonná jednotka: 1-elektromotor, 2-distanční kroužek, 3-příruba s ložiskem, 4-pevná hřídelová spojka, 5-všesměrové kolo Mecanum	35
Obr. 30 Výkres všesměrového robota se základními parametry	36
Obr. 31 Všesměrový robot	36
Obr. 32 Univerzální všesměrové kolo	37
Obr. 33 Pohonná jednotka: 1-elektromotor, 2-držák, 3-pružná hřídelová spojka, 4-příruba s ložiskem, 5-univerzální všesměrové kolo	38
Obr. 34 Výkres tříkolového všesměrového robota se základními rozměry	38
Obr. 35 Tříkolový všesměrový robot.....	39
Obr. 36 Přídavná patra zajišťují úložný prostor robotu	39

Seznam symbolů:

$\Delta\tau_A, \Delta\tau_B$ a $\Delta\tau_C$	úhlová rychlost ve směru τ	$[\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}]$
$\Delta n_A, \Delta n_B, \Delta n_C,$	změna otáček kol A, B, C	$[\text{s}^{-1}]$
x_{S1}, y_{S1}	Souřadnice v bodě 1	$[\text{m}]$
x_{S2}, y_{S2}	Souřadnice v bodě 2	$[\text{m}]$
$\Delta x_S, \Delta y$	Změna souřadnic x a y	$[\text{m}]$
Ω	úhlová rychlost	$[\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}]$

8 SEZNAM PŘÍLOH

- CD obsahující 3D modely tří a čtyřkolového robota, výkres sestavy tříkolového robota a výkres jeho pohonné jednotky, výkres sestavy čtyřkolového robota a výkres jeho pohonné jednotky

Čestně prohlašuji, že tento vytištěný text mé bakalářské práce je shodný s textem, který jsem jako soubor uložil na portál VUT FSI.

V Brně dne 24. 5. 2018

.....

Jakub Imramovský